

投資の戦略的な意思決定： リアルオプションとゲーム理論の応用分析

嘉本慎介

大阪大学大学院経済学研究科博士後期課程

1 はじめに

2 研究の背景と先行研究

企業は、新規事業の開拓・新製品の導入・生産設備の拡張など、莫大な投資コストがかかるさまざまな事業投資を計画し、計画した事業投資になんらかの意思決定を下さなければならない。そして、投資の意思決定を迫られる企業は、将来の事業環境の不確実性を必ず憂慮する。なぜなら、第一に、将来の事業環境が不確実であるとき、企業は、投資の実施時点において、その将来価値を正しく予知できないからである。そして、第二に、ほとんどの場合において、いったん投資が実施されるならば、事業環境の予想外の悪化により事業が不採算に陥ったとしても、事業の開始時に支出した投資コストを回収する手だてがないこと（投資の不可逆性）を認識しているからである。

投資の不確実性と不可逆性により、企業は、投資の実施について非常に困難な意思決定を強いられることになる。しかしその一方、企業は、投資の実施について、ある程度の自由な裁量を備えており、今すぐに投資を実施するかどうかの判断を保留できることも事実である。したがって、事業環境がさらに良好になり、事業価値が十分に高くなるまで、企業は投資の意思決定を延期できるかもしれない。（投資の延期可能性）そして、事業価値が十分に高くなるとき、企業は事業への投資を実施できることになる。そうすれば、企業は、予想外の事業環境の悪化によって、事業が不採算に陥る可能性を緩和することができる。また、投資の延期可能性により、企業は、事業環境が芳しくないとき、計画した事業への投資を実施しないことで事業からの損失を回避でき、事業環境が良好になればなるほど、投資の実施により高い事業価値を得る機会に恵まれる。これは、投資に関するある種の権利（投資機会）が企業に与えられていることを示唆している。

多くの企業投資に関連するこれらの性質（不確実性・不可逆性・延期可能性）により、投資機会とファイナンシャルオプションの対応付けが可能になった。そして、ファイナンシャルオプション理論が強力な分析ツールとして投資の意思決定を分析するために用いられ、リアルオプションモデルが構築されてきた。それ以降、さまざまな事業への投資の意思決定について、リアルオプションモデルを応用した研究が、今日までさかんに行われており、投資の意思決定を分析するうえで必須のものになってきている¹。

e-mail: kamoto1975@aol.com

¹Brennan and Schwartz(1985) は、鉱山の価値評価と採掘の中断と再開の意思決定を分析するためにオプション価格評価理論を応用している。Titman(1985) はリアルオプションモデルを応用して不動産の価値を評価している。McDonald and Siegel(1986) はリアルオプションの基本フレームワークを提供している。Majad and Pindyck(1987) は、基本モデルを拡張し、事業の開始までに段階的な支出を必要とする投資の意思決定について分析している。Pindyck(1988) は、リ

リアルオプションの重要なインプリケーションは、事業環境が不確実であるとき、企業がいますぐの投資実施から生じる将来の投資に関する権利の消失を機会費用とみなし、事業価値が投資コストを十分に上回るまで事業への投資を延期すべきであり、さらに、不確実性が大きくなるほど、機会費用を重大に考慮し、投資をいっそう延期すべきであるということである。結果として、最適な投資の意思決定は、事業価値が投資コストに機会費用を加えた総費用を上回るとき、企業が投資すべきであるということになる。しかしながら、このインプリケーションと最適な投資の意思決定は、ある企業だけが独占的に投資を実施できると仮定したリアルオプションモデルから導かれている。つまり、リアルオプションモデルは、もし企業がすぐにでも投資を実施しないならば、ライバル企業が先に投資を実施し、投資からの事業価値を奪ってしまう戦略的環境を全く考慮していない。したがって、リアルオプションモデルには、新規事業の開拓や新製品の導入などの投資の意思決定をする状況において、企業が企業自身の最適な意思決定をしようとする一方で、ライバル企業の意思決定も考慮しなければならない戦略的思考が反映されていない。

多くの産業において、数社の企業が事業活動を行っている。そして、それらの企業は、新製品の導入・新規市場の開拓などの事業への投資をする場合、高い市場シェアの実現や産業内の優位性の獲得のため、ライバル企業の意思決定を考慮し、出し抜かれまいと警戒するだろう。したがって、投資に関するオプションについて、その価値や原資産の価値が企業自身だけでなくライバル企業の意思決定にも依存すると考えられる。そのため、戦略的環境におけるリアルオプションに関する研究は投資の意思決定を分析する上で重要であるだろう。

戦略的環境を考慮したリアルオプションモデルの研究はこれまでもさかんにおこなわれており、代表的な研究として Dixit and Pindyck(1994)・Grenadier(1996,2000)などが挙げられる。これらの研究は、企業の投資の意思決定について、戦略的思考を取り入れるために、リアルオプションモデルにゲーム理論を応用している。そして、戦略的思考を考慮した各企業の投資の意思決定に関する均衡戦略をゲーム理論の均衡概念を利用して導いている。具体的には、ある市場への新製品導入を検討する2社の同質な企業が存在し、企業自身だけでなく相手企業の新製品導入に関する意思決定もそれぞれの企業の新製品導入に関する価値に重大な影響を与えるモデルを設定し、両企業が、相手企業に対して戦略的思考を働かせながら、先・後・同時に新製品を導入するそれぞれの場合について、企業自身と相手企業の最適な意思決定を考え、新製品導入に関する均衡戦略を導いている²。

Dixit and Pindyck(1994)・Grenadier(1996・2000)が、リアルオプションモデルにゲーム理論の概念を取り入れることにより、企業間の戦略的思考を考慮した投資の意思決定を分析するフレームワークを構築して以来、この研究分野はますます活気づいており、今日までさまざまな研究が行われている。そして、それらの研究の大きな関心のひとつは、彼らのフレームワークを企業間になんらかの非対称性が存在するモデルに拡張し、戦略的思考を考慮した投資の意思決定を分析することである³。

リアルオプションモデルにより設備拡張に関する投資の意思決定を分析し、企業価値についてのインプリケーションを与えている。Dixit(1989)は市場からの参入と退出の意思決定を分析している。Myers and Majd(1990)は生産設備の廃棄や転用の意思決定について分析している。Dixit and Pindyck(1994)・Trigeorgis(1996)はリアルオプションの代表的な教科書である。また、Schwartz and Trigeorgis(2001)は、リアルオプションのコンセプト・理論モデル・応用などについて、これまでの代表的な論文を包括的にまとめている。

²Dixit and Pindyck(1994)・Grenadier(1996)は、両企業が同時に新製品を導入する可能性をあらかじめ排除している。また、Grenadier(1996)は、2社の不動産会社のビルの建て替えに関する戦略的な意思決定をモデル化し、現実の不動産市場で起きる現象について、合理的な説明を提供している。Grenadier(2000)は、戦略的環境を考慮したリアルオプションモデルの基本フレームワークをまとめている。また、混合戦略まで考慮した均衡戦略を導いている。

³Grenadiar(1999)は、現時点で観察できる事業価値について、その評価が異なる複数の企業間における戦略的な意思決定を分析している。Joaquin and Butler(2000)は、生産コストが異なる二社の企業間の戦略的な意思決定を分析している。Joaquin and Khanna(2001)は、資産規模の異なる二社の企業について、市場への参入と退出に関する戦略的意思決定を分析している。Pawlina and Kort(2002)は、投資コストが異なる二社の企業間の戦略的な意思決定を分析してい

2 研究の目的

本稿の研究目的も、企業間にある非対称性を仮定したモデルに Dixit and Pindyck(1994)・Grenadier(1996,2000) のフレームワークを拡張し、戦略的な投資の意思決定を分析することである。そして、ここで仮定する企業間の非対称性は、両企業が新製品を導入した後の市場において、各企業の生産量が、相手企業より先・後・同時のいずれのタイミングで新製品を導入したかに依存して、異なるというものである。これまでの研究は、投資コスト・生産コスト・事業価値や相手企業の投資コストに関する情報などの非対称性を仮定して、あらかじめ異質な企業間における戦略的な投資の意思決定を分析している。しかしながら、これまでの研究は、あらかじめ外生的に異質な企業を仮定する一方、両企業が新製品を導入した後の市場において、両企業が生産量と利潤が等しく、企業間の事後的な非対称性が存在しないことを仮定している。これに対して、本稿の研究は、2社の企業はあらかじめ同質であるが、先に新製品を導入した企業が、のちに新製品を導入する企業より強い立場を築くことができ、結果として相手企業の新製品導入後においても高い市場シェアと利潤を確保できる事後的な非対称性（先発企業の優位性）をモデルに仮定する。そして、先発企業の優位性が戦略的な投資の意思決定と均衡戦略に及ぼす影響を考察する。

先発企業の優位性に関する理論的根拠は、多くの研究により指摘されており、規模の経済性・経験効果・独占的なマーケティング・経営資源（原材料・流通・好立地の店舗など）の先取り・製品の差別化・業界標準の獲得・評判の確立・顧客の確保などさまざまなものが考えられる。先発企業は、後発企業が市場に参入してくるまで、先に述べたような手段を駆使して後発企業に対する優位性を確立し、後発企業の参入を阻止したり、たとえ参入できたとしても小規模なものに抑えることができると考えられる。さらに、先発企業の優位性に関する多くの実証研究が、市場への参入順序と市場シェアが負の相関関係にあることと、成功した製品の市場において、先発企業が後発企業より高い市場シェアを長期間持続しうることを明らかにしている⁴。また、現実のビジネスの世界でも、多くの企業が、将来、市場規模が拡大したときに高い市場シェアと優位性の実現につながると考え、他社に先駆けて市場に新製品を導入する戦略をとっている⁵。

2 結果とインプリケーション

Dixit and Pindyck(1994)・Grenadier(1996,2000) やそれを拡張したこれまでの研究と同様の手順によって、先発企業の優位性を仮定したモデルから、新製品導入の戦略的な意思決定に関する企業の均衡戦略を導く。そして、各企業が、均衡戦略にしたがうとき、市場への新製品の導入段階において、はじめに確認する市場規模の情報に依存して、逐次参入（どちらか一方に企業が先に新製品を導入し、それから時間が経過した後にもう一方の企業がそれに追従する参入）と同時参入（両企業が同時に新製品を導入する参入）のいずれかが均衡として実現することを明らかにする。それから、それぞれの均衡について、戦略的思考と先発企業の優位性に関するインプリケーションを示す。

逐次参入のケースでは、戦略的思考にもとづいて各企業が意思決定をするとき、そうでないときより先発企業の新製品導入のタイミングが早くなることが示される。そして、その結果、どちらの企業も、先発企業になれたとしても、後発企業が新製品を導入できるほどに市場規模が拡大しないかぎり、先発企業の優位性による高い事業価値を享受できず、先発企業として新製品を導入した直

る。Lambrecht and Perraudin(2003) は、両企業が相手企業の投資コストを正確に把握していない状況における戦略的な意思決定を分析している。

⁴Kerin, Varadarajan and Peterson(1992)・中川(2001) は、先発企業の優位性の理論と実証の関する研究の包括的なサーベイを提供している

⁵日本製粉は、高シェアの獲得をねらい、家庭用クルトン市場への早期の参入を実施している。(日経産業新聞 2002/1/28) ギャガ・コミュニケーションズも、高シェアの獲得をねらい、VOD(ビデオ・オン・デマンド)市場への早期の参入を実施している。(日経産業新聞 2002/5/14)

後では、超過価値をまったく享受できないことが明らかになる。さらに、シミュレーションを利用することにより、先発企業が、新製品を導入した直後からまもなく、事業価値が投資コストを下回る危機に高い確率で直面することも示される。

同時参入のケースでは、戦略的思考と先発企業の優位性のため、両企業にとって企業間で新製品の導入時期について協調できるならば回避できるはずの望ましくない同時参入が起きることが示される。そして、望ましくない同時参入にコミットしなければならない企業が、新製品を導入した直後からまもなく、事業価値が投資コストを下回る危機にかなりの確率で直面することも示される。

また、不確実性の大きさや後発企業の優位性が戦略的な意思決定や均衡戦略に与える影響についても検討する。不確実性については、戦略的環境を考慮しない標準的なリアルオプションモデルと同様の結果が示される。それに加えて、不確実性が大きくなる時、望ましくない同時参入が起きる範囲が広くなることが示される。後発企業の優位性については、先発企業の優位性と同様にその存在を多くの研究が指摘しており、先発企業が開発した新製品や技術の低コストでの複製・先発企業がコストをかけて開拓した市場へのただ乗り・先発企業の市場における行動からの学習などが理論的根拠として挙げられる。このような優位性により、後発企業は、先発企業よりも低い投資コストで、新製品を導入できるかもしれない。したがって、本稿は、後発企業の投資コストの減少がモデルに与える影響についても考えることにする。

2 論文の構成

本稿は、第2節で、先発企業の優位性を仮定した本稿のモデルを設定する。それから、Dixit and Pindyck(1994)・Grenadier(1996・2000) やそれを拡張したこれまでのモデルと同様の手順によって、新製品導入の戦略的な意思決定と均衡戦略を導く。そして、均衡戦略のもとで、各企業が、市場への新製品の導入段階においてはじめに確認する市場規模の情報に依存して、逐次参入（どちらか一方に企業が先に新製品を導入し、それから時間が経過した後にもう一方の企業がそれに追従する参入）と同時参入（両企業が同時に新製品を導入する参入）のいずれかが均衡として実現することを明らかにする。第3節で、それぞれの均衡について、戦略的思考と先発企業の優位性に関するインプリケーションを示す。最後に、第4節で本稿の研究をまとめる。

2 モデル

2.1 モデルの仮定と概観

新製品導入の投資を計画する二社の企業を仮定する。その新製品の価格は次の逆需要関数によって決定される。

$$P_t = X_t[a - bQ_t] \quad (1)$$

P_t と Q_t は、 t 時点における製品価格と新製品の総供給量をそれぞれ表している。そして、 a と b は正の定数とする。 X_t は、この新規市場の需要に影響を与える外生的なショックであり、この市場の規模に関する情報を表しているものとする。 X_t の値の大きさは市場規模の大きさを意味しており、 X_t の値が大きいくほど、需要が拡大し、製品価格が上昇する。そのため、 X_t の大きな値は企業にとって好ましい情報を意味する。ここでは、 X_t が、時間を通じて連続的に変化する確率過程のひとつである幾何ブラウン運動にしたがうと仮定する。したがって、どちらの企業も、現時点までの市場規模は観察できるが、将来の市場規模を正確に知ることはできず、いつも不確実性に直面している。 X_t についての幾何ブラウン運動は次のように表される。

$$dX_t = \theta X_t dt + \sigma X_t dz \quad (2)$$

ここで、 $\theta = 1$ 、 \pm と $\frac{1}{2}$ は、正の定数であり、 X_t についての瞬間的な期待変化率と標準偏差をそれぞれ表している⁶。dzはウィナー過程にしたがう。

どちらの企業も新製品導入のために一定の投資コストを支出しなければならない。投資コストは、新製品の導入順位により異なり、相手企業よりも先に製品を導入し、先発企業になるには1、相手企業の後に後発企業として新製品を導入するときには $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{2}$ [0; 1]である。 $\frac{1}{2}$ は後発企業の優位性を表している。また、同時に製品を導入するとき、どちらの企業も投資コスト1を支出しなければならない。さらに、投資コストは、いったん支出されると回収できない。また、いったん製品を導入した企業は永続的に製品の供給できるものとする。

どちらの企業も、先に製品を導入した場合、相手企業が参入するまで先発企業として市場を独占できる。しかし、後発企業となる相手企業が市場に参入すれば、先発企業と後発企業は製品の供給について競争することになる。このとき、先発企業が生産・販売などの戦略に関する優位性を築いているため、後発企業は、先発企業の決定を観察したのちに、自らの生産量を決定をするものとする⁷。また、先発企業も後発企業がこのような行動をとることをあらかじめ認識しているものとする。このため、後発企業が参入したあと、市場ではシュタッケルベルク均衡が実現する。その一方、同時に市場に製品が導入された場合、両企業の間には戦略に関する優位性はなく、生産量を同時に決定するものとする。したがって、市場ではクールノー均衡が実現する。

どちらの企業も、これまでに述べた仮定のもとで、企業価値を最大にするように新製品導入の意思決定をするわけであるが、新製品の導入から受け取る企業自身の価値に相手企業の意思決定が影響を及ぼすことも考慮しなければならない。そのため、相手企業がとりうる意思決定を所与として、両企業は意思決定をする必要がある。つまり、どちらの企業も、相手企業が先・後・同時に新製品を導入するそれぞれの場合について、企業自身が新製品の導入から受け取る価値を考慮しながら、新製品導入の意思決定しなければならない。

モデルは、このような戦略的環境に直面する企業の新製品導入の意思決定に関する均衡戦略を明らかにする。そのため、相手企業より先・後・同時に新製品を導入するそれぞれの場合において、各企業が受け取る価値と最適な意思決定を導く必要がある。そして、それらは後ろ向きに解くことにより導くことができる。つまり、まずはじめに、各企業は、相手企業がもうすでに新製品を市場に導入したことを所与として、後発企業になるときに受け取る価値と最適な意思決定について考える。つぎに、各企業は、相手企業が後発企業の役割をする、つまり後発企業の最適な意思決定にしたがい新製品を導入することを所与として、先発企業になるときに受け取る価値と最適な意思決定について考えればよい。最後に、両企業が同時に市場に参入するときの受け取る価値と最適な意思決定について考える。そして、導かれた価値の相対的な関係にもとづいて、両企業にとっての均衡戦略を導くことになる。

また、新製品の導入から各企業が受け取る価値と最適な意思決定はオプション価格評価理論を応用して導かれる。つまり、各企業が新製品の導入から受け取る価値は、原資産（ここでは、外生ショック X_t ）と安全資産から構成される複製ポートフォリオと無裁定でなければならないことを利用して導かれる。そのため、外生ショック X_t （もしくは、 X_t と完全に相関する資産、またはポートフォリオ）が取引できる完備な金融市場が存在することを仮定する。そして、安全資産の瞬間的

⁶ は、金融市場で X と完全に相関する資産の瞬間的な期待収益率を表している。 \pm は、新製品を実際に導入した企業だけが得ることができるインカムゲインの収益率と解釈できる。そして、 $\theta < 1$ 、つまり $\pm > 0$ が成り立つと仮定する。もしこれが成り立たないならば、新製品を導入しようとする企業は存在しなくなる。なぜならば、 X の変化によってもたらされる新製品導入の価値は、新製品導入のオプション価値にすべて反映されるからである。

⁷あとから新製品を導入する後発企業は、先発企業がとる戦略を観察してから自身の戦略を決定することにより、市場で優位性を発揮している先発企業と競争することを回避できるかもしれない。その結果、後発企業は、先発企業から激しい競争を仕掛けられることなく、市場での地位を築くことができると考えられる。また、市場で優位である先発企業に先に生産量を決定させることで、後発企業は、先発企業への最適な対応をとることができ、市場での地位が築きやすくなると考えられる。

な収益率を r で表現する。 r は時間を通じて一定と仮定する。

これ以降、この節は次のように展開される。はじめに、任意の時点 t において、独占・シュタツケルベルク均衡・クールノー均衡のそれぞれが実現したときの先発企業・後発企業の生産量と利潤をそれぞれ求める。それから、後発企業・先発企業になるときと同時参入が起きたときに企業が受け取る価値をそれぞれ導く。そして、導いたそれぞれの価値をもとに、各企業の新製品導入に関する均衡戦略を明らかにする。

2.2 生産量と利潤

2.2.1 独占

先発企業は、相手企業が後発企業として新製品を導入するまで、その市場を独占することができる。したがって、先発企業は、後発企業が新製品を導入するまで、各時点 t において独占企業として利潤を最大にするように生産量を決定できる。

$$\pi_{mt} = P_t q_{mt} = X_t (a - b q_{mt}) q_{mt}$$

ここで、 π_{mt} と q_{mt} は、各時点 t における独占企業の利潤関数と生産量を表している。 π_{mt} を最大にする最適な生産量 q_{mt}^* は以下のように求められる。

$$\begin{aligned} \frac{d\pi_{mt}}{dq_{mt}} &= X_t (a - 2b q_{mt}) = 0 \\ q_{mt}^* &= \frac{a}{2b} \quad \pi_{mt} = \frac{a^2}{4b} X_t \end{aligned} \quad (3)$$

2.2.2 シュタツケルベルク均衡

後発企業がいったん参入すれば、先発企業と後発企業の競争が起こる。このとき、先発企業は後発企業より先に生産量を決定できる。そのため、後発企業は、すでに決定された先発企業の実生産量を所与として、自らの生産量を決定することになる。これは、二段階の動学ゲーム問題であるので、時点 t における各企業の均衡生産量と均衡利潤を求めるため、問題を後ろ向きに解かなければならない。つまり、はじめに後発企業の実生産量を求めて、つぎにそれを所与として先発企業の実生産量を求める。

$$\pi_{ft} = P_t q_{ft} = X_t [a - b(q_{ft} + q_{lt})] q_{ft}$$

π_{ft} は時点 t における後発企業の利潤関数、 q_{lt} と q_{ft} は時点 t における先発企業と後発企業の実生産量をそれぞれ表している。

$$\begin{aligned} \frac{d\pi_{ft}}{dq_{ft}} &= X_t [a - b(q_{lt} + 2q_{ft})] = 0 \\ q_{ft} &= \frac{a - b q_{lt}}{2b} \end{aligned} \quad (4)$$

後発企業は、すでに決定された先発企業の実生産量を所与として、利潤を最大にする生産量を決定する。(4) 式は、先発企業の任意の実生産量に対して π_{ft} を最大にする生産量を決定できる反応関数である。この反応関数にしたがって後発企業が実生産量を決定することを後発企業だけでなく先発企業も知っている。

$$\begin{aligned} \pi_{lt} &= P_t q_{lt} = X_t [a - b(q_{lt} + q_{ft})] q_{lt} \\ &= \frac{1}{2} X_t (a - b q_{lt}) q_{lt} \end{aligned}$$

$\frac{1}{2}q_{it}$ は、時点 t における先導企業の利潤関数を表している。先発企業は、後発企業の反応関数を所与として、最適な生産量を決定できるので、利潤関数の q_{ft} に後発企業の反応関数を代入する。そして、その利潤関数を q_{it} について微分することにより、先発企業の均衡生産量 q_{it}^a を求めることができる。それから、 q_{it}^a を後発企業の反応関数に代入することにより q_{ft}^a が求められる。

$$\begin{aligned} \frac{d\frac{1}{2}q_{it}}{dq_{it}} &= \frac{1}{2}X_t(a_i - 2bq_{it}) = 0 \\ q_{it}^a &= \frac{a_i}{2b} & q_{ft}^a &= \frac{a_j}{4b} \\ \frac{1}{2}q_{it} &= \frac{a_i^2}{8b}X_t & \frac{1}{2}q_{ft} &= \frac{a_j^2}{16b}X_t \end{aligned} \quad (5)$$

2.2.3 クールノー均衡

両企業が同時に参入するとき、どちらの企業も相手企業の生産量をあらかじめ知ることはない。したがって、どちらの企業も相手企業の生産量を所与として、自らの生産量を決定しなければならない。

$$\frac{1}{2}q_{it} = P_t q_{it} = X_t[a_i - b(q_{it} + q_{jt})]q_{it} \quad (i = 1; 2 \ i \neq j)$$

ここで、 $\frac{1}{2}q_{it}$ は時点 t における各企業の利潤関数、 q_{it} と q_{jt} は時点 t における各企業の生産量をそれぞれ表している。 $\frac{1}{2}q_{it}$ を最大にする均衡生産量 q_{it}^a は以下のように求めることができる。

$$\begin{aligned} \frac{d\frac{1}{2}q_{it}}{dq_{it}} &= X_t[a_i - b(2q_{it} + 2q_{jt})] = 0 \\ q_{it} &= \frac{a_i - bq_{jt}}{2b} \quad (i = 1; 2 \ i \neq j) \end{aligned} \quad (6)$$

(6) 式は、相手企業の任意の生産量に対して $\frac{1}{2}q_{it}$ を最大にする生産量を決定する反応関数である。どちらの企業も、相手企業がこの反応関数にしたがって生産量を決定することを所与として、均衡生産量を決定できる。したがって、各企業の均衡生産量は以下ようになる。

$$q_{it}^a = \frac{a_i}{3b} \quad \frac{1}{2}q_{it} = \frac{a_i^2}{9b}X_t \quad (i = 1; 2) \quad (7)$$

2.3 逐次参入

2.3.1 後発企業

相手企業が先発企業としてすでに新製品を市場に導入したことを所与として、後発企業として新製品を導入するならば、シュタッケルベルク均衡のもとで生産量 q_{ft} を永久に供給し、利潤 $\frac{1}{2}q_{ft}$ を得る。したがって、後発企業の投資プロジェクトの価値 $V_F(X)$ は次のよう表現できる。

$$\begin{aligned} V_F(X) &= E^Q \left[\int_t^{\infty} \frac{a_j^2}{16b} X e^{i r(s_i - t)} ds_j X \right] \\ \text{st: } dX &= (r_i \pm) X dt + \frac{1}{2} X dz^Q \quad dz^Q = dz_i \frac{r_i \pm i}{\frac{1}{2}} dt \end{aligned}$$

ここで、 $E^Q[\cdot | X]$ はリスク中立確率のもとでの条件付き期待値を表している。

$V_F(X)$ は X の派生証券であるので、リスク中立評価法 (Risk neutral valuation) を利用して無裁定条件から次の微分方程式を導くことができる。

$$\frac{1}{2} \frac{1}{2} X^2 V_F(X)^{00} + (r_i \pm) X V_F(X)^0 + r V_F(X) + \frac{a_j^2}{16b} X = 0$$

$$\lim_{X \rightarrow 0} V_F(X) = 0$$

$$V_F(X) = \frac{a^2 - 16b}{\pm} X \quad (8)$$

これは、外生ショックの値が X ときに新製品を導入した場合の期待現在価値に相当している。後発企業のオプション価値 $F(X)$ は次のよう表現できる。

$$F(X) = \max \{ E^Q[(V_F(X_F^a) - \frac{1}{2}l)e^{i(r - \frac{1}{2}\sigma^2)T_F^a} | X]; V(X) - \frac{1}{2}l \}$$

$$\text{st: } dX = (r - \frac{1}{2}\sigma^2)Xdt + \sigma Xdz^Q$$

ここで $V(X) - \frac{1}{2}l$ は投資を実施するときの価値を表し、 $E^Q[(V_F(X_F^a) - \frac{1}{2}l)e^{i(r - \frac{1}{2}\sigma^2)T_F^a} | X]$ は X_F^a に到達するまで投資を延期するときの価値を表している。 X_F^a は最適な投資実施の閾値を表している。 T_F^a は X が X_F^a に到達する時間を表す確率変数である。

$F(X)$ も X の派生証券であるので、リスク中立評価法 (Risk neutral valuation) を利用して無裁定条件から次の微分方程式を導くことができる。

$$\frac{1}{2}\sigma^2 X^2 F''(X) + (r - \frac{1}{2}\sigma^2)X F'(X) - rF(X) = 0 \quad (9)$$

この式は以下の境界条件を課すことで解くことができる。

$$F(X_F^a) = \frac{a^2 - 16b}{\pm} X_F^a - \frac{1}{2}l \quad (10)$$

$$F'(X_F^a) = \frac{a^2 - 16b}{\pm} \quad (11)$$

$$\lim_{X \rightarrow 0} F(X) = 0 \quad (12)$$

$X = X_F^a$ のもとで投資の実施が最適になるために、(10)、(11) 式の境界条件が満たされる必要がある。(10) 式は、 X が X_F^a にあるとき、オプション価値 (左辺) が投資の純期待現在価値 (右辺) が等しくなることを示している。これはバリューマッチングコンディション (the value-matching condition) と呼ばれる。(11) 式はスムーズペースティングコンディション (the smooth-pasting condition) と呼ばれるものである。これは、 X が X_F^a に到達するとき、投資を実施することが $F(X)$ を最大にする最適な意思決定であることを保証している。(12) 式は、原資産の価値がなくなると、オプションの価値もなくなること示している。(9) 式を (10)、(11)、(12) 式の境界条件のもとで解くことにより、 $F(X)$ 、 X_F^a を以下のように導くことができる。

$$F(X) = \begin{cases} < \frac{1}{2}l - \frac{X}{X_F^a} & X < X_F^a \\ : \frac{a^2 - 16b}{\pm} X - \frac{1}{2}l & X \geq X_F^a \end{cases} \quad (13)$$

$$X_F^a = \frac{\pm \frac{1}{2}l}{(r - \frac{1}{2}\sigma^2) - \frac{a^2 - 16b}{r}} \quad (14)$$

$$r - \frac{1}{2}\sigma^2 > \frac{1}{2} \left(\frac{r - \frac{1}{2}\sigma^2}{\frac{3}{4}} + \left(\frac{r - \frac{1}{2}\sigma^2}{\frac{3}{4}} - \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{2r}{\frac{3}{4}} \right) > 1 \quad (15)$$

また、パラメーターにある数値を与えたもとで、 $F(X)$ は図 1 によく描くことができる⁸。

各企業は、相手企業に先に新製品を導入されたとき、必然的に後発企業になる。したがって、残された企業は後発企業のオプション価値 $F(X)$ を与えられる。そして、 X が X_F^a に到達するとき、

⁸パラメーターは、それぞれ表 1 のように特定化されている。ただし、 $\frac{3}{4} = 0.2$ 、 $\frac{1}{2} = 1$ である。これ以降、全ての図について、これと同様にパラメーターを特定化する。

その企業は、オプションを行使し、市場に新製品を導入する。つまり、投資コスト $\frac{1}{2}I$ を支出し、 $V_F(X_F^a)$ を受け取る。

$F(X)$ の $\frac{1}{2}$ に関する一回微分・二回微分と X_F^a の $\frac{1}{2}$ に関する一回微分はそれぞれ次のようになる。

$$\frac{\partial F}{\partial \frac{1}{2}} = \begin{cases} < i \frac{X}{X_F^a} | < 0 & X < X_F^a \\ : & X \geq X_F^a \end{cases} \quad (16)$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial \frac{1}{2}^2} = \begin{cases} < \frac{-X}{X_F^a} \frac{X}{X_F^a} \frac{1}{(-i-1)a^2=16b} | > 0 & X < X_F^a \\ : 0 & X \geq X_F^a \end{cases} \quad (17)$$

$$\frac{\partial X_F^a}{\partial \frac{1}{2}} = \frac{1}{(-i-1)a^2=16b} | > 0 \quad (18)$$

これらの比較静学から次のことが指摘できる。 $\frac{1}{2}$ が小さくなるならば、後発企業の新製品導入にかかる投資費用は低くなる。投資費用が低くなると、後発企業が受け取る新製品導入に関する事業価値が投資費用を上回る可能性が高くなるので、新製品導入に関するオプション価値 $F(X)$ は上昇する。そして、 $\frac{1}{2}$ を小さくしていくとき、 $F(X)$ の限界的な増加分は小さくなる。また、 $\frac{1}{2}$ が小さくなるとき、後発企業の最適な新製品導入の意思決定 X_F^a は小さくなる。したがって、任意の初期値 $X_0 (< X_F^a)$ から外生ショックがはじまるとき、より早いタイミングで後発企業は新製品を導入できることになる。

2.3.2 先発企業

先発企業の投資プロジェクトの価値 $L_F(X)$ は次のよう表現できる。

$$L(X) = \begin{cases} E^Q \left[\int_t^{T_F^a} \frac{a^2}{4b} X e^{i r(s_i t)} ds + \frac{R_1}{T_F^a} \frac{a^2}{8b} X e^{i r(s_i t)} ds | X \right] & X < X_F^a \\ E^Q \left[\int_t^{T_F^a} \frac{a^2}{8b} X e^{i r(s_i t)} ds | X \right] & X \geq X_F^a \end{cases}$$

st: $dX = (r_i \pm) X dt + \frac{1}{2} X dz^Q$

$X < X_F^a$ のとき、右辺の第1項目は先発企業が市場を独占するときの期待現在価値を表し、第2項目はシュタツケルベルク均衡のもとでの期待現在価値を表している $X \geq X_F^a$ のとき、もうすでに後発企業は投資を実施しているため、 $L_F(X)$ はシュタツケルベルク均衡のもとでの期待現在価値によって表される。この $L(X)$ もリスク中立評価法 (Risk neutral valuation) を利用して無裁定条件から次の微分方程式を導くことができる。

$$\frac{1}{2} \frac{1}{2} X^2 L(X)'' + (r_i \pm) X L(X)' - r L(X) + \frac{a^2}{4b} X = 0 \quad (19)$$

この式に以下の境界条件を課すことにより、 $L(X)$ は導かれる。

$$L(X_F^a) = \frac{a^2 - 8b}{\pm} X_F^a \quad (20)$$

$$\lim_{X \rightarrow 0} L(X) = 0 \quad (21)$$

(20) 式は、 X が X_F^a に到達するとき、後発企業が投資を実施し、シュタツケルベルク均衡が実現することを反映した境界条件である。(21) 式は、 X が 0 に近づくとき、 $L(X)$ の価値も 0 に近づくことを示している。(19) 式を (20)、(21) 式の境界条件のもとで解くことにより、 $L(X)$ は以下のよ

うに導かれる。

$$L(X) = \begin{cases} AX^{-1} + \frac{a^2-4b}{\pm} X & X < X_F^a \\ \frac{a^2-8b}{\pm} X & X \geq X_F^a \end{cases} \quad (22)$$

$$A = \begin{cases} (X_F^a)^{-1} - \frac{a^2-8b}{\pm} X_F^a & < 0 \end{cases} \quad (23)$$

$L(X)$ の $\frac{1}{2}$ に関する一回微分、二回微分はそれぞれ次のようになる。

$$\frac{\partial L}{\partial \frac{1}{2}} = \begin{cases} < 2^{-1} \frac{X}{X_F^a} > 0 & X < X_F^a \\ : 0 & X \geq X_F^a \end{cases} \quad (24)$$

$$\frac{\partial^2 L}{\partial \frac{1}{2}^2} = \begin{cases} < i \frac{2^{-2} 1}{X_F^a} \frac{X}{X_F^a} \frac{1}{(i-1) a^2 - 16b} > < 0 & X < X_F^a \\ : 0 & X \geq X_F^a \end{cases} \quad (25)$$

この比較静学から先発企業の価値 $L(X)$ について次のようなことが指摘できる。 $X < X_F^a$ の範囲において、 $\frac{1}{2}$ が小さくなるとき、(14) 式からわかるように後発企業がより早く新製品を導入できるので、先発企業が市場を独占できる期間が短くなり、 $L(X)$ は減少することになる。そして、 $L(X)$ の限界的な減少分は、 $\frac{1}{2}$ が小さくなるほど大きくなる。 $X \geq X_F^a$ の範囲において、先発企業が新製品を導入した後すぐに後発企業も新製品を導入するので、 $L(X)$ は $\frac{1}{2}$ の影響を受けない。

ここで、二社の企業のあいだで、先発企業と後発企業の役割があらかじめ外性的に決定されてる状況を考えることにする。たとえば、どちらか一方の企業だけが製品化に必要な技術やアイデアを開発しており、その企業が製品を導入したあとに、もう一方の企業が製品化のプロセスを模倣して、新製品を導入する状況が考えられる。この場合、先発企業になる企業は、相手企業の先制的な市場参入により締め出される脅威を考慮しなくてよい。そして、先発企業のオプション価値 $G(X)$ は次のようになる

$$G(X) = \max E^Q[(L(X_L^a) - I) e^{r T_L^a} | X]; L(X) - I \\ \text{st: } dX = (r - \delta) X dt + \frac{1}{2} X dz^Q$$

ここで、 $L(X) - I$ は投資を実施するときの価値を表し、 $E^Q[(L(X_L^a) - I) e^{r T_L^a} | X]$ は X_L^a に到達するまで投資を延期するときの価値を表している。 X_L^a は最適な投資実施の閾値を表している。 T_L^a は X が X_L^a に到達する時間を表す確率変数である。

先発企業の投資の意思決定も後発企業と同様に解くことができるので、 $G(X)$ の微分方程式は次のようになる。

$$\frac{1}{2} \sigma^2 X^2 G(X)'' + (r - \delta) X G(X)' - r G(X) = 0 \quad (26)$$

この式を以下の境界条件もとで解く。

$$G(X_L^a) = AX_L^a + \frac{a^2-4b}{\pm} X_L^a - I \quad (27)$$

$$G(X_L^a)' = -A(X_L^a)^{-1} + \frac{a^2-4b}{\pm} \quad (28)$$

$$\lim_{X \rightarrow 0} G(X) = 0 \quad (29)$$

(27)、(28) 式はそれぞれバリューマッチングコンディションとスムーズペースティングコンディショ

ンである。G(X)、X_L^a は次のようになる。

$$G(X) = \begin{cases} AX^{-1} + \frac{1}{i-1} \frac{X}{X_L^a} & X < X_L^a \\ AX^{-1} + \frac{a^2-4b}{\pm} X & X > X_L^a \end{cases} \quad (30)$$

$$X_L^a = \frac{1}{(i-1) \frac{\pm}{a^2-4b}} \quad (31)$$

また、G(X) と L(X) は図 2 のように描くことができる。

二社の企業のあいだで、先発企業と後発企業の役割があらかじめ外性的に決定されてるとき、先発企業は、X が X_L^a に到達するとき、市場へ新製品を導入する。その一方、企業間の役割があらかじめ外性的に決定されていないとき、どちらの企業にも、相手企業に先発企業の立場を奪われ、市場から締め出されないように、少しでも早く新製品を導入しようとするインセンティブが生じる。その結果、X が X_L^a に到達するより早い時点で、各企業は市場に参入しようとする。そして、先発企業のオプション価値 G(X) と先発企業の超過価値は消滅する。このことは、あと節で説明される。

G(X) の 1/2 に関する一回微分、二回微分はそれぞれ次のようになる。

$$\frac{\partial G}{\partial 1/2} = \frac{2^{-1} X}{(X_F^a)^{-1} X_L^a} > 0 \quad X < X_L^a \quad (32)$$

$$\frac{\partial^2 G}{\partial 1/2^2} = \frac{2^{-2} X}{1/2 (X_F^a)^{-1} X_L^a} < 0 \quad X < X_L^a \quad (33)$$

この比較静学から先発企業の新製品導入に関するオプション価値 G(X) について次のようなことが指摘できる。1/2 が小さくなるとき、(24) 式からわかるように L(X) は減少する。そして、先発企業の新製品導入はより小さな価値しかもたらさないため、G(X) は減少する。また、G(X) の限界的な減少分は、1/2 が小さくなるほど大きくなる。

2.4 同時参入 (Simultaneous Entry)

二社の企業が同時に新製品を導入するとき、クールノー均衡が実現する。この場合、各企業は毎期 1/4_{it} の利潤を得る。したがって、同時参入により各企業の投資プロジェクトの価値 S(X) は次のようになる。

$$S(X) = E^Q \left[\int_t^Z \frac{a^2}{9b} X e^{i r (s_i - t)} ds | X \right]$$

$$\text{st: } dX = (r - i) X dt + 1/4 X dz^Q$$

これまでと同様に、リスク中立評価法 (Risk neutral valuation) を利用して無裁定条件から次の微分方程式を導くことができる。

$$\frac{1}{2} 1/4^2 X^2 S(X)^{00} + (r - i) X S(X)^0 - r S(X) + \frac{a^2}{9b} X = 0 \quad (34)$$

$$S(X) = \frac{a^2-9b}{\pm} X \quad (35)$$

ここで、二社の企業が、新製品導入の意思決定について協調し、かならず同時に投資を実施するように制約されている状況を考えることにする。この場合も、各企業は相手企業に市場から締め出

される脅威を考慮しなくてよい。このとき、両企業のオプション価値 $H(X)$ は次のようになる。

$$H(X) = \max E^Q[(S(X_S^a) - I)e^{i r T_S^a} X]; S(X) - I \quad g$$

$$\text{st: } dX = (r - \frac{1}{2})X dt + \frac{1}{2}X dz^Q$$

ここで、 $H(X) - I$ は投資を実施するときの価値を表し、 $E^Q[(S(X_S^a) - I)e^{i r T_S^a} X]$ は X_S^a に到達するまで投資を延期するときの価値を表している。 X_S^a は最適な投資実施の閾値を表している。 T_S^a は X が X_S^a に到達する時間を表す確率変数である。

後発企業のオプション価値と同様に $H(X)$ のついで微分方程式は次のようになる。

$$\frac{1}{2} \sigma^2 X^2 H''(X) + (r - \frac{1}{2})X H'(X) - rH(X) = 0 \quad (36)$$

この式を以下の境界条件のもとで解く。

$$H(X_S^a) = \frac{a^2 - 9b}{\pm} X_S^a - I \quad (37)$$

$$H(X_S^a)' = \frac{a^2 - 9b}{\pm} \quad (38)$$

$$\lim_{X \rightarrow 0} H(X) = 0 \quad (39)$$

(36)、(37) 式はそれぞれバリューマッチングコンディションとスムーズペースティングコンディションである。 $H(X)$ と X_S^a は以下のように導かれる。

$$H(X) = \begin{cases} \frac{1}{i-1} \frac{X}{X_S^a} & X < X_S^a \\ \frac{a^2 - 9b}{\pm} X - I & X \geq X_S^a \end{cases} \quad (40)$$

$$X_S^a = \frac{\pm}{(i-1)(a^2 - 9b)} \quad (41)$$

また、 $H(X) - I$ は図 3 によつて描くことができる。

二社の企業間で新製品導入について協調的な意思決定がなされるとき、両企業は、 X が X_S^a に到達するとき市場に新製品を導入する。しかしながら、どちらの企業も協調しないとき、両企業は、先発企業になろうとして、相手企業より早く参入しようとする。その結果、あとの節で示されるように、 X が X_S^a に到達するより早い時点で、同時参入が起きる。

各企業の新製品導入の意思決定に関する均衡戦略を導くために、逐次参入と同時参入のそれぞれのケースにおいて企業が受け取る価値（利得）の相対的な大小関係を明らかにする必要がある⁹。価値（利得）の相対的な大小関係は外生ショック X と $\frac{1}{2}$ に依存している。これ以降は、モデルを簡単にするため、まず $\frac{1}{2} = 1$ もとで均衡戦略の導くことにする。そして、あとで $\frac{1}{2}$ の影響について議論することにする。

$\frac{1}{2} = 1$ のとき、相対的な大小関係は以下のように表現できる。そして、この関係を満たす X_L ($0 < X_L$)、 X_S ($0 < X_S$) が唯一存在する。

$$\begin{aligned} S(X) - I < L(X) - I < F(X) & \quad 0 < X < X_L \\ S(X) - I < L(X) - I = F(X) & \quad X = X_L \\ S(X) - I < F(X) < L(X) - I & \quad X_L < X < X_S \\ S(X) - I = F(X) < L(X) - I & \quad X = X_S \\ F(X) < S(X) - I < L(X) - I & \quad X_S < X < X_F^a \\ F(X) < S(X) - I < L(X) - I & \quad X > X_F^a \end{aligned}$$

⁹ゲ・ム理論の用語で、すべてのプレイヤーの行動の結果として各プレイヤーが受け取る価値は利得と呼ばれる。これ以降、本稿でも、相手企業より先・後・同時に新製品を導入するときに各企業が受け取るそれぞれの価値 $L(X) - I$; $F(X)$; $S(X) - I$ を利得と呼ぶことにする。

X_L は先発企業と後発企業のどちらになることも無差別である X 値を表している。 X_S は同時に市場参入することと追従企業になることが無差別になる X 値を表している。 $\frac{1}{2} = 1$ のとき、 X_L と X_S は一意に決まり、 $X_L < X_S < X_S^a < X_F^a$ という関係が成り立つ¹⁰。そして、 $0 < X < X_L$ において、後発企業の利得が先発企業の利得を上回り、同時参入の利得がもっとも低い。したがって、各企業は、後発企業になり、利得 $F(X)$ を受け取れることを望む。 $X_L < X < X_S$ において、先発企業の利得が後発企業の利得を上回り、この範囲でも同時参入の利得がもっとも低い。結果として、各企業は、先発企業になろうと、相手企業より早く新製品を導入しようとする。その一方で、どちらの企業も、同時参入は避けたいと考える。 $X > X_S$ において、先発企業の利得がもっとも高く、同時参入の利得が後発企業の利得を上回る。ここでも、各企業は先発企業になるインセンティブを持つ。しかし、相手企業に先に新製品を導入され、市場から締め出されてしまい、後発企業になることをもっとも懸念する。また、図 4 はこの利得の相対的な大小関係を描いている。

2.5 均衡戦略

先発企業・後発企業・同時参入の利得の相対的な大小関係を所与として、各企業の新製品導入の意思決定に関する均衡戦略を導く。均衡戦略のもとで、各企業は、相手企業の戦略を所与として、受け取れる価値（利得）を最大化している。そのため、均衡戦略のもとでは、選択した戦略と異なる戦略を選択するインセンティブを各企業がもたないことになる。

任意の外生ショック X のもとで、利得の相対的な大小関係を所与として、各企業は、新製品を導入するかどうかを決定するゲームを行う。すくなくともどちらか一方の企業でも新製品を導入したときに、このゲームは終了する。そして、このゲームには、任意の外生ショック X のもとで、4通りの結果が起こりうる。ひとつは、どちらの企業も新製品を市場に導入する、つまり同時参入である。このとき、ゲームは終了し、各企業は $S(X)_i$ を得ることになる。もうひとつは、どちらか一方の企業（仮に企業 1 とする）が新製品を導入し、もう一方の企業（仮に企業 2 とする）は、導入しない。このとき、ゲームは終了し、新製品を導入した企業 1 は、先発企業になり $L(X)_i$ を得ることができる。その一方、参入しなかった企業 2 は、後発企業になりオプション価値 $F(X)$ を受け取り、後発企業の最適な意思決定にしたがうことになる。つまり、 X が X_F^a に到達するとき、企業 2 は新製品を導入する。さらにもうひとつは、企業 2 が市場に新製品を導入し、企業 1 が導入しないという結果である。このとき、企業 1 と企業 2 の立場が前の説明と入れ替わるだけである。最後は、どちらの企業も新製品を導入しないという結果である。このときゲームは継続するので、異なる X のもとで、各企業は新たにゲームをやり直すことになる。そして、すくなくともどちらか一方の企業が市場に新製品を導入するまで、このゲームは繰り返される。図 5 は起こりうる 4通りの結果をまとめている。任意の X における各ゲームにおいて、4通りのうちのどの結果が均衡になるかは、外部性ショック X の値に依存して決まる。そして、外生ショックの初期値 X_0 をどの範囲に与えるかに依存して、各企業の新製品導入に関する均衡戦略は、逐次参入と同時参入のいずれかになる。

任意の外生ショック X のもとで、利得の相対的な大小関係を所与として、各ゲームの均衡は次のようになる¹¹。

- ² X が $0 < X < X_L$ にあるとき、 $S(X)_i < L(X)_i < F(X)$ が成り立つ。そして、どちらの企業も、先発企業になるより後発企業になることを望み、相手企業より早く新製品を導入

¹⁰ 証明は付録 1 にある。

¹¹ 証明は付録 2 にある。

入しようとしなない。したがって、この範囲の X において、どちらの企業も、新製品を導入しないことを選択する。そのため、この範囲において各企業はゲームを繰り返す。

- ² X が $X_L \cdot X < X_S$ にあるとき、 $S(X)_i < F(X) \cdot L(X)_i$ が成り立つ。そして、どちらの企業も、先発企業になることを望むけれども、同時に新製品を導入することを避けたいと考える。その結果、この範囲の X におけるゲームの均衡は、どちらか一方の企業が新製品を導入することを選択し、もう一方の企業が導入しないことを選択するというものになる。
- ² X が $X \cdot X_S$ にあるとき、 $F(X) \cdot S(X)_i < L(X)_i$ が成り立つ。このとき、相手企業の選択に関係なく、どちらの企業にとっても、新製品を導入するときの利得が導入しないときの利得を上回る。したがって、各企業は、新製品を導入することを選択し、同時参加が起きる。

任意の X におけるゲームの均衡を所与として、各企業の新製品導入に関する意思決定の均衡戦略は次のようになる¹²。

- ² 外生ショックの初期値 X_0 が $0 < X < X_L$ の範囲に与えられるとき、各企業は、 X が X_L に到達するまで、市場への新製品導入を延期する。そして、 X が X_L に到達するとき、もし相手企業が新製品を導入しないならばすぐに市場に導入し、もし相手企業がすでに導入しているならば後発企業の意思決定にしたがい、 X が X_F に到達するとき新製品を導入する。
- ² 外生ショックの初期値 X_0 が $X_L \cdot X < X_S$ の範囲に与えられるとき、もし相手企業がまだ市場に新製品を導入しないならば、各企業はすぐに市場に導入する。そして、もし相手企業が先に導入するならば、後発企業の意思決定にしたがう。
- ² 外生ショックの初期値 X_0 が $X \cdot X_S$ の範囲に与えられるとき、相手企業が新製品を導入するかどうかにかかわらず、各企業はすぐに導入する。

この均衡戦略から、外生ショックの初期値 X_0 に依存して、逐次参加と同時参加のどちらかが起きることがわかる。 X_0 が $0 < X < X_S$ の範囲に与えられるとき、どちらか一方の企業が先に市場に新製品を導入し、それから時間が経過したのちに、もう一方の企業も新製品を導入する逐次参加が起きる。そして、 X_0 が $X \cdot X_S$ の範囲に与えられるとき、両企業が一斉に市場に新製品を導入する同時参加が起きる。

3 モデルからのインプリケーション

3.1 逐次参加

均衡戦略からわかるように、 X_0 が $0 < X < X_L$ の範囲に与えられるとき、各企業は、新製品の導入をしばらく延期し、外生ショックの推移を観察する。このとき、もし二社の間であらかじめ先発企業と後発企業の役割が外性的に決定されているならば、先発企業の役割を与えられてた企業は X が X_L^* に到達するまで製品の導入を延期できる。そして、その企業は、 X が X_L^* に到達するとき、市場に新製品を導入し、後発企業が受け取る利得 $F(X_L^*)$ より高い利得 $L(X_L^*)_i$ を受け取ることができる。したがって、市場に新製品を導入した時点において、先発企業になる企業は超過価値を得ることができる。これは、もしどちらか一方の企業だけが製品化に必要な技術をすでに開発

¹²証明は付録3にある。

し、新製品を市場に導入するまでその技術を秘密にできるならば、市場の不確実性が十分に解消するまで新製品の導入を延期することができることを意味している。そして、かりに製品化の技術を開発できなかった企業が、先発企業の新製品導入後すぐに、その技術を費用をかけないで複製できるとしても、すぐに市場に製品を導入することは最適でないので、製品化に必要な技術をいち早く開発できた企業はある期間にわたって独占利益を享受できることになる。

しかしながら、どちらの企業も先発企業になれるならば、各企業は、先発企業になることから得られる超過価値の獲得のため、相手企業より少しでも早く新製品を市場に導入しようとする。そして、どちらか一方の企業が、 X_L^* よりも若干小さい値に X が到達するとき、新製品を導入しようとする。しかし、これを予想して、もう一方の相手企業がさらに小さい X の値で新製品を導入しようとする。超過価値の獲得のプロセスが続けられる結果、各企業は、先発企業になるために $X_L (< X_L^*)$ の時点で新製品を導入しなければならない。 X_L の時点において $L(X_L) | I = F(X_L)$ であるので、先発企業と後発企業になることが無差別になり、先発企業の超過価値は全くなってしまふ。そして、先発企業は、市場規模が大きく拡大した場合にかぎり、後発企業を上回る価値を享受できる。また、先発企業になろうとする両企業が、相手企業に先に新製品を導入されてしまい、市場から締め出されることを懸念するため、早いタイミングで新製品を導入しなければならないことがわかる。したがって、ある企業だけが独占的に投資を行うことができる仮定のもとで導かれたリアルオプションモデルの意思決定は、ライバル企業の意思決定への戦略的思考によって変化することになる。

3.2 同時参入

X_0 が X_L 、 X_S の範囲に与えられるとき、先発企業になることは企業にもっとも高い利得をもたらす。その一方、後発企業になることは同時参入からの利得より低い利得しかもたらさない。そのため、各企業は、先発企業になって超過利得を得ることを望み、それと同時に相手企業に先に新製品を導入されて市場から締め出されることをもっとも懸念する。そのため、この範囲に外生ショックが存在するとき、相手企業が新製品を導入するしないにかかわらず、どちらの企業もすぐに市場に新製品を導入する。結果として、均衡では同時参入が起きることになる。

ここで注目すべきことは、 $X_S > X > X_L^*$ の範囲で起きる同時参入がどちらの企業にとっても望ましくない均衡であるということである。なぜなら、どちらの企業も、 X が同時参入の最適な意思決定 X_S^* に到達するより早いタイミングで新製品を導入しなければならないからである。そのため、将来、外生ショックがより好ましくなってから新製品を導入するオプションの価値 $H(X)$ を各企業は失うことになる。このとき、もし両企業が新製品導入の時期について協調できるならば、どちらの企業も同時参入の最適な意思決定にしたがい、新製品を市場に導入できるかもしれない。しかしながら、新製品導入のタイミングについて、両企業が協調することにコミットできないかぎり、どちらの企業も、望ましくない同時参入であることを認識しながら、相手企業に先に新製品を導入されて市場から締め出されることを回避し、運が良ければ先導企業になることを期待して、すぐに新製品を市場に導入する。結果として、望ましくない同時参入の均衡が実現することになる。

3.3 戦略的思考・不確実性・後発企業の優位性の影響

ここでは、数値計算を利用して、相手企業の意思決定への戦略的思考・不確実性のパラメータ $\frac{1}{4}$ ・後発企業の優位性 $\frac{1}{2}$ などが新製品導入に関する意思決定や新製品導入後の事業価値に与える影

響を考察する。数値計算のため、各パラメーターをそれぞれ表1ように特定化する。

3.3.1 新製品導入後の事業価値について

標準的なリアルオプションモデルにおいて、企業は、ある事業への投資について独占的な権利を持つため、事業価値が投資コストを十分に上回るまで投資を延期できる。その結果、投資の実行後まもなく事業価値が投資コストを下回る危機に企業が陥ることはごくわずかな確率でしか起こりえない。しかしながら、現実のビジネスの世界において、多くの企業は、事業への投資がうまく軌道に乗らず、事業価値が投資コストを下回る危機を経験している。本稿のモデルは、類似事業への投資を実施できる数社の企業間において、各企業の投資の意思決定が他の企業の事業価値に影響を及ぼす戦略的環境が、このような危機をまねく一因になりえることを示すことができる。モデルが明らかにしたように、戦略的環境は、企業に対して、高い市場シェアとライバル企業に対する優位性の実現と市場から締め出されることの回避のインセンティブを与え、早期の投資実施を助長し、市場を取り巻く不確実性が十分に解消されない段階での投資の実行を余儀なくする。そのため、各企業の合理的な戦略的思考から導かれた均衡のもとで、Xがまだ十分に大きくない時期に新製品を導入しなければならない先発企業や相手企業の先制的な新製品導入により市場から締め出されることを回避するために非効率な同時参入に踏み切れない企業は、新製品導入後まもなく非常に高い確率で事業価値が投資コストを下回る危機に直面することになる。

表2は、 $X = X_L$ で新製品を導入する先導企業について、新製品の導入後から5年以内に事業価値が投資コストを下回る危機に直面する確率をシュミレーションによって求めている¹³。表3は、 $X = X_S$ で同時に新製品を導入する企業について、新製品の導入から5年以内に事業価値が投資コストを下回る危機に直面する確率をシュミレーションによって求めている。

3.3.2 不確実性について

投資環境が不確実になるほど、投資に関するオプション価値が上昇し、投資の実施にかかる機会費用が増大するため、投資環境についてより好ましい情報を入手するまで、企業は投資を延期しようとする。これは、標準的なリアルオプションモデルからの重要なインプリケーションである。そして、このインプリケーションは戦略的環境によって影響を受けない。

表4は、戦略的環境を考慮したリアルオプションモデルについて、不確実性パラメーター σ と新製品導入の意思決定の関係を示している。 σ が0.1から0.5に増加していくとき、外生に決定された先発企業と後発企業および協調的な同時参入について、それぞれの最適な意思決定(X_L^a 、 X_F^a 、 X_S^a)は、標準的なリアルオプションモデルにもとづいて導かれているので、もちろん上昇する。つまり、企業は、投資環境についてより好ましい情報を入手するまで、新製品の導入を延期する。また、逐次参入と同時参入のそれぞれの引き起こす閾値である X_L と X_S も、不確実性の増加とともに上昇することが表4からわかる。これは、不確実性が大きくなるとき、後発企業の新製品導入に関するオプション価値 $F(X)$ が、大きく上昇するため、先発企業が新製品を導入するときと両企業が同時に参入するときにそれぞれ受け取る価値 $L(X)_i$ と $S(X)_i$ を広いXの範囲で上回

¹³ $X = X_L$ (または $X = X_S$)からスタートする外生ショックが新製品の導入後から5年以内に $X = fXJL(X) = Ig$ (または $X = fXJS(X) = Ig$)に到達する確率をシュミレーションを利用して求めている。(2)式の幾何ブラウン運動は次のように離散化されている。

$$X_t = X_{t-1} + \sigma X_{t-1} \phi_t + \frac{1}{2} \sigma^2 X_{t-1}^2 \phi_t^2$$

ここで、 $\phi_t = 0.0025$ であり、 ϕ_t は標準正規分布からの乱数である。また、 $t = 400$ を一年としている。それぞれの結果は1000回のシュミレーションから得られている。

り、より高い X の値でしか $L(X)_i$ と $S(X)_i$ のそれぞれと等しくならぬために起きる。結果として、外生ショックの初期値が $X_0 < X_L$ に与えられるとき、不確実性が大きいほど、両企業は先発企業になることを先延ばしにする。また、不確実性が大きくなるほど、外部性ショックがより高い値に到達しない限り、両企業が同時に新製品を導入する状況は生じないことが表 4 からわかる。しかしながら、表 4 からわかるように、不確実性が大きくなるほど、 X_S と X_S^a が乖離していくので、 X が高い値になり市場が好転しているにもかかわらず、望ましくない同時参入が起こりやすくなる。

3.3.3 後発企業の優位性 ($\frac{1}{2}$) について

$\frac{1}{2}$ が 1 より小さくなるとき、後発企業は先発企業より少ない投資コストで新製品を導入することができる。そして、 $\frac{1}{2}$ の値が小さくなればなるほど、後発企業の投資コストも小さくなり、後発企業はより早く新製品を導入できる。これは、(18) 式からも明らかである。また、(16)、(24) 式からわかるように、 $\frac{1}{2}$ の値が小さくなるほど、後発企業の価値 $F(X)$ は上昇し、先発企業の価値 $L(X)_i$ は減少する。そのため、両企業にとって、先発企業になることや同時に新製品を導入するよりも、後発企業になることのほうが魅力的になる。つまり、後発企業の優位性が両企業に新製品の導入を延期するインセンティブを与えることになる。その結果、逐次参入と同時参入それぞれの閾値である X_L と X_S は上昇することになる。したがって、 $\frac{1}{2} = 1$ のもとで導かれたこれまで結果は、後発企業の優位性の影響により修正されるかもしれない。しかしながら、非常に広い範囲の後発企業の優位性のもとで、これまで結果が十分に妥当することが表 5 と図 6 からわかる。

表 5 は後発企業の優位性が均衡に与える影響を示している。 $\frac{1}{2}$ の値が減少していくとき、 X_F^a は小さくなり、 X_L と X_S は大きくなるので、先発企業と同時参入の最適な意思決定 X_L^a と X_S^a や逐次参入と同時参入の閾値 X_L と X_S が X_F^a と同じ値になることが考えられる。 $\frac{1}{2} = \frac{9}{16}$ のとき、 X_F^a は X_S^a と等しくなる。しかし、このことは、これまで結果に影響を与えるものでない。また、表 5 に示されるすべて $\frac{1}{2}$ の値は、 $\bar{c} > 1$ なので、 $\frac{9}{16}$ より小さくなることがわかる。したがって、 $\frac{9}{16} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1$ において、これまでの結果になんの影響もないことになる。さらに、 X_F^a が X_L より小さくなるまで、つまり後発企業の優位性が $\frac{1}{2} = \frac{\bar{c}-1}{2\bar{c}+1}$ 以下になるまで、新製品の導入に関する意思決定と閾値のあいだの位置関係に変化があるけれども、逐次参入が起きる可能性を排除できない。 X_F^a が X_L より小さくなるとき、 X が X_L に到達するとき、両企業のどちらかが新製品を導入することになる。そして、後発企業になるもう一方の企業は、すでに X が X_F^a を上回っているため、すぐに新製品を導入することになる。したがって、両企業の新製品導入はほぼ同時に起きることになる。また、表 5 からわかるように、 $\frac{1}{2} = \frac{9-\bar{c}-16}{16(\bar{c}+1)}$ のとき、 X_S^a と X_S が等しくなる。したがって、 $\frac{1}{2}$ の値が $\frac{9-\bar{c}-16}{16(\bar{c}+1)}$ 以下になるとき、望ましくない同時参入が起きる可能性はなくなる。なぜなら、両企業に同時参入を決断させる閾値 X_S が同時参入の最適な意思決定 X_S^a を上回るため、実現する同時参入がすべて最適になるからである。

表 5 にある $\frac{1}{2}$ の値のいくつかは \bar{c} の関数になっている。そのため、後発企業の優位性 $\frac{1}{2}$ に不確実性のパラメーター $\frac{1}{4}$ が与える影響を見ることにする。図 6 は、表 5 の $\frac{1}{2}$ の値をそれぞれ $\frac{1}{4}$ の関数として描いている。 \bar{c} の関数になっている $\frac{1}{2}$ の値は、 $\frac{1}{4}$ が大きくなるにつれて、小さくなることがわかる。つまり、不確実性が大きくなるほど、 $\frac{1}{2} = 1$ のもとで導かれた結果が後発企業の優位性によって影響を受ける可能性が小さくなることがわかる。また、不確実性がそれほど大きくない範囲において、 $\frac{9-\bar{c}-16}{16(\bar{c}+1)}$ の値が急激に減少していくことが図 6 からわかる。したがって、不確実性がそれほど大きくないとき、 $\frac{1}{2}$ の値が $\frac{9}{16}$ 以下になれば、望ましくない同時参入が起きる可能性は排除されるかもしれないが、不確実性が大きくなるほど、より高い後発企業の優位性（より低

い½の値)が望ましくない同時参入が起きる可能性の排除に求められる。そして、ある一定の不確実性を越えるとき、望ましくない同時参入が起きる可能性を排除できないことになる。

4 おわりに

本稿は、Dixit and Pindyck(1994)・Grenadier(1996,2000)が提示した戦略的環境を考慮したリアルオプションモデルを拡張し、先発企業の優位性が存在する仮定のもとで、戦略的な投資の意思決定に関する企業の均衡戦略を導いた。外生ショックの初期値 X_0 に依存して、企業の均衡戦略は3種類に分けることができ、それぞれの均衡戦略のもとで、逐次参入と同時参入が起きることが示された。

戦略的環境と先発企業の優位性を考慮した本稿のモデルは、逐次参入と同時参入のそれぞれのケースにおいて、インプリケーションを提示した。逐次参入のケースでは、 X_0 が $0 < X < X_L$ に与えられるとき、先発企業になる企業が、市場規模が拡大しない限り、後発企業を上回る価値を享受できないことが示された。また、先発企業が、新製品の導入直後まもなく、事業価値が投資コストを下回る危機に高い確率で陥ることも示された。同時参入のケースでは、もし両企業が新製品の導入時期について協調できるならば、回避するであろう望ましくない均衡が実現することが示された。そして、望ましくない均衡のもとで、同時に新製品を導入する両企業が、導入直後まもなく、事業価値が投資コストを下回る危機にかなりの確率で陥ることも示された。また、不確実性が大きくなると、この望ましくない均衡の範囲が広がることもわかった。

さらに、本稿は、不確実性や後発企業の優位性が新製品導入の意思決定に与える影響についても調べた。不確実性については、これまでのリアルオプションモデルと同様に、不確実性が大きくなる時、どちらの企業も新製品の導入を延期することが示された。そして、後発企業の優位性については、後発企業の優位性が大きくなる時、後発企業になることが先発企業になるより企業にとって好ましくなるため、先発企業の新製品の導入が延期されることが示された。また、後発企業の優位性が大きくなる時、後発企業の優位性が存在しない仮定のもとで導かれたモデルの結果は、変更される可能性があることも示された。しかしながら、かなり大きな後発企業の優位性がない限り、このような可能性が起こることはなく、それに加えて、不確実性が大きくなるほど、この可能性はますます低くなることが示された。

付録 1

証明

$X_0 < X_F^*$ において、 $F(X) < S(X) | I < L(X) | I$ が明らかに成立する。

$0 < X < X_F^*$ において、 $\hat{A}(X)$ 、 $\bar{A}(X)$ 、 $\rho(X)$ をそれぞれ次のように定義する。

$$\hat{A}(X) = L(X) | I | F(X)$$

$$\bar{A}(X) = S(X) | I | F(X)$$

$$\rho(X) = L(X) | I | (S(X) | I)$$

$\rho(X) > 0$ がいつも成立することは自明である。したがって、 $X > 0$ において、 $L(X) | I > S(X) | I$ がいつも成立することがわかる。

$L(X) | I$ と $F(X)$ を等しくする X_L の存在が一意であることを証明する。

$$\hat{A}(0) = | I < 0 \quad \hat{A}(X_F^*) = \frac{|}{| - 1} | > 0$$

したがって、 $0 < X < X_F^a$ において、 $L(X)_i$ と $F(X)$ は少なくとも一回は交わっていることがわかる。

$$\bar{A}^{00}(X) = \frac{\mu - (2 - \mu)}{X^2} \frac{X}{X_F^a} < 0$$

$\bar{A}(X)$ についての2回微分がいつも負なので、 $L(X)_i$ と $F(X)$ は一回しか交わらないことがわかる。したがって、 $0 < X < X_F^a$ において、 $L(X)_i$ と $F(X)$ を等しくする X_L の存在は一意である。

以上のことから、 $0 < X < X_L$ において、 $S(X)_i < L(X)_i < F(X)$ が成立することがわかる。

また、次の式から

$$\begin{aligned} \bar{A}(X_L^a) &= \frac{\mu}{1 - \mu} \frac{1}{4} > 0 \\ \frac{\partial \bar{A}(X_L^a)}{\partial X} &< 0 \\ \lim_{X \rightarrow 0} \bar{A}(X_L^a) &= 1 \\ \lim_{X \rightarrow X_F^a} \bar{A}(X_L^a) &= 0 \end{aligned}$$

$\mu > 0$ であるならば、 $\bar{A}(X_L^a) > 0$ であるから、 $X_L < X_L^a < X_F^a$ であることが明らかである¹⁴。
 $S(X)_i$ と $F(X)$ を等しくする X_S の存在が一意であることを証明する。

$$\bar{A}(0) = \frac{\mu}{1 - \mu} < 0 \quad \bar{A}(X_F^a) = \frac{7a^2 - 144b}{\pm} X_F^a > 0$$

したがって、 $0 < X < X_F^a$ において、 $S(X)_i$ と $F(X)$ は少なくとも一回は交わっていることがわかる。

$$\bar{A}^{00}(X) = \frac{\mu - 1}{X_F^{a2}} \frac{X}{X_F^a} < 0$$

$\bar{A}(X)$ についての2回微分がいつも負なので、 $S(X)_i$ と $F(X)$ は一回しか交わらないことがわかる。したがって、 $0 < X < X_F^a$ において、 $S(X)_i$ と $F(X)$ を等しくする X_S の存在は一意である。

また、次の式から

$$\bar{A}(X_S^a) = \frac{\mu}{16} \frac{1 - \mu}{1 - \mu} > 0$$

$X_S < X_S^a < X_F^a$ であることが明らかである。

以上のことから、 $X > X_S$ において、 $F(X) < S(X)_i < L(X)_i$ が成立することがわかる。

そして、 $X = X_L$ のとき $S(X_L)_i < F(X_L) = L(X_L)_i$ なので、 $X_L < X_S$ であることは明らかである。

以上のことから、 $X_L < X < X_S$ において、 $S(X)_i < F(X) < L(X)_i$ が成立することがわかる。

したがって、 $\mu = 1$ のとき、 X_L と X_S の存在が一意であること・ $X_L < X_S < X_S^a < X_F^a$ という関係・利得の相対的大小関係が成り立つことは証明された。

付録 2

¹⁴ $\mu = 0$ のとき、 $\mu = 1$ になる。したがって、極限においてのみ、 $X_L = X_L^a$ となる。

² X が $0 < X < X_L$ にあるとき、 $S(X)_i | < L(X)_i | < F(X)$ が成り立つ。そして、どちらの企業も、先発企業になるより後発企業になることを望み、相手企業より早く新製品を導入しようとしなない。したがって、この範囲の X において、どちらの企業も、新製品を導入しないことを選択する。そのため、この範囲において各企業はゲームを繰り返す。

証明

$8X \ 2 \ fXj0 < X < X_Lg$ において、もし企業 i ($i = 1$ or 2) が今すぐに新製品を導入をするならば、 $S(X)_i | < F(X)$ なので、企業 j ($j = 1$ or $2, i \notin j$) は新製品を導入しない。

また、もし企業 i が新製品を導入をしないならば、 $L(X)_i | < F(X)$ なので、企業 j も新製品を導入しない。

したがって、 $8X = fXj0 < X < X_Lg$ において、どちらの企業も新製品を導入しないことがゲームの均衡になる。

² X が $X_L \cdot X < X_S$ にあるとき、 $S(X)_i | < F(X) \cdot L(X)_i |$ が成り立つ。そして、どちらの企業も、先発企業になることを望むけれども、同時に新製品を導入することを避けたいと考える。その結果、この範囲の X におけるゲームの均衡は、どちらか一方の企業は新製品を導入することを選択し、もう一方の企業は導入しないことを選択するというものになる。

証明

$8X \ 2 \ fXjX_L \cdot X < X_Sg$ において、もし企業 i が今すぐに新製品を導入をするならば、 $S(X)_i | < F(X)$ なので、企業 j は新製品を導入しない。

また、もし企業 i が新製品を導入をしないならば、企業 j は今すぐに新製品を導入する。この企業 j の戦略が、企業 i への最適な反応であることは次の考え方によって明らかになる。

X が $8X \ 2 \ fXjX > X_g$ に到達するとき、企業 i が新製品を導入をすると仮定する¹⁵。

このとき、企業 j は、 X が $X_j \ 2$ に到達するときに新製品を導入するならば、 $L(X_j \ 2)_i | > L(X)_i |$ を得ることができる¹⁶。その結果、企業 i は $F(X_j \ 2)$ を得ることになる。しかしながら、これはゲームの均衡ではない。なぜなら、企業 i が、この戦略から逸脱することにより、 $F(X_j \ 2)$ より高い利得を得ることができるからである。

企業 i は、企業 j の戦略を見越して、 X が $X_j \ 2^2$ に到達するときに新製品を導入するならば、 $L(X_j \ 2^2)_i | > F(X_j \ 2)$ を得ることができる。その結果、企業 j は $F(X_j \ 2^2)$ を得ることになる。しかしながら、これもまたゲームの均衡にはなりえない。

企業 j は、企業 i のこの戦略を見越して、 X が $X_j \ 3^2$ に到達するときに新製品を導入するならば、 $L(X_j \ 3^2)_i | > F(X_j \ 2^2)$ を得ることができる。その結果、企業 i は $F(X_j \ 3^2)$ を得ることになる。これまでのプロセスからわかるように、これもゲームの均衡にはなりえない。

このプロセスは、結果的に X まで繰り返されることになるので、もし企業 i が新製品を導入をしないならば、企業 j にとって今すぐに新製品を導入することが最適な戦略になる。

したがって、 $8X \ 2 \ fXjX_L \cdot X < X_Sg$ におけるゲームの均衡は、企業 i が今すぐに新製品を導入し、企業 j が新製品を導入しないことになる。

¹⁵ $L(X)_i$ 、 $F(X)$ 、 $S(X)_i$ はそれぞれ X についての単調増加関数なので、 X より小さい値で新製品を導入する企業は、 X で新製品を導入する。したがって、 X が $8X \ 2 \ fXjX < X_g$ に到達するとき、企業 i が新製品を導入することをここで仮定する必要はない。

¹⁶ ² は微小な正の定数と仮定する。

² X が X_s 、 X_S にあるとき、 $F(X) \cdot S(X)_i < L(X)_i$ が成り立つ。このとき、相手企業の選択に関係なく、どちらの企業にとっても、新製品を導入するときの利得が導入しないときの利得を上回る。したがって、各企業は、新製品を導入することを選択し、同時参加が起きる。

証明

$X < X_S$ において、もし企業 i が今すぐに新製品を導入をするならば、 $F(X) \cdot S(X)_i < L(X)_i$ なので、企業 j も今すぐに新製品を導入する。

また、もし企業 i が新製品を導入をしないならば、企業 j は今すぐに新製品を導入する。この企業 j の戦略が、企業 i への最適な反応であることは、 $X < X_S$ におけるゲームの均衡を導くために利用したプロセスを同様のプロセスにより明らかになる。

前に利用したプロセスが X まで繰り返される結果、 $X < X_S$ において、もし企業 i が新製品を導入をしないならば、企業 j にとって今すぐに新製品を導入することが最適な戦略になる。

したがって、 $X < X_S$ におけるゲームの均衡は、相手企業の戦略に関係なく、両企業が今すぐに新製品を導入することになる。

付録 3

² 外生ショックの初期値 X_0 が $0 < X < X_L$ の範囲に与えられるとき、各企業は、 X が X_L に到達するまで、市場への新製品導入を延期する。そして、 X が X_L に到達するとき、もし相手企業が新製品を導入しないならばすぐに市場に導入し、もし相手企業がすでに導入しているならば後発企業の意思決定にしたがい、 X が X_F に到達するとき新製品を導入する。

証明

外生ショックの初期値が $X_0 < X < X_L$ のとき、両企業は新製品の導入を延期する。そして、 X が X_L を通過するとき、先発企業になるインセンティブが両企業に生じる。したがって、 $X < X_L$ において、両企業は相手企業より早く新製品を導入し、先発企業になろうとする。

ここで、企業 i ($i = 1$ or 2) が先発企業の最適な意思決定にしたがうと仮定する。つまり、 X が X_L^i に到達するとき、企業は新製品を導入する。このとき、企業 j ($j = 1$ or $2, i \neq j$) は、 X_L^i より小さい値である $X_{L^i}^j$ で新製品を導入するならば、 $L(X_{L^i}^j)_i < F(X_{L^i}^j)_i$ を受け取ることができる。 $L(X_{L^i}^j)_i$ は、 $F(X_{L^i}^j)$ や $S(X_{L^i}^j)_i$ より大きいので、企業 i の戦略への最適な反応であることがわかる。この結果、企業 i の利得は $F(X_{L^i}^j)_i$ になる。しかしながら、企業 i も、企業 j のこの戦略を見越して、 $X_{L^i}^j$ で新製品を導入することにより、 $F(X_{L^i}^j)_i$ よりも大きな利得 $L(X_{L^i}^j)_i$ を得ることができる。先発企業になるための両企業によるこの競争は、先発企業になることが後発企業になるより高い利得をもたらす限り繰り返される。結果として、 X の初期値が $X_0 < X < X_L$ のとき、先発企業になるには、 X_L で新製品を導入しなければならない。 X_L において $L(X_L)_i = F(X_L)$ が満たされているので、両企業にとって先発企業と後発企業のいずれになることも無差別である。また、 $X < X_L$ において、 $S(X)_i < L(X)_i < F(X)$ が満たされているので、両企業とも先発企業になろうとしない。

したがって、 X の初期値が $X_0 < X < X_L$ のとき、任意の X におけるゲームの均衡を所与として、 X が X_L に到達するとき、相手企業がまだ新製品を導入していないならば、すぐに新製品を導入し、もし相手企業がすでに新製品を導入しているならば、後発企業として X が X_F に到達するとき新製品を導入することが各企業の新製品導入に関する均衡戦略になる。

- 2 外生ショックの初期値 X_0 が $X_L \cdot X < X_S$ の範囲に与えられるとき、もし相手企業がまだ市場に新製品を導入しないならば、各企業はすぐに市場に導入する。そして、もし相手企業が先に導入するならば、後発企業的意思決定にしたがう。
- 2 外生ショックの初期値 X_0 が $X \cdot X_S$ の範囲に与えられるとき、相手企業が新製品を導入するかどうかにかかわらず、各企業はすぐに導入する。

証明

外生ショックの初期値が $X_0 \in [X_L \cdot X, X_S]$ と $X_0 \in [X, X_S]$ のとき、各企業の新製品導入に関する均衡戦略は、任意の X におけるゲームの均衡から明らかである。

参考文献

- 中村博 2001 「新製品のマーケティング」 中央経済社
- Brennan, M. J., and E. S. Schwartz, 1985, Evaluating natural resource investments, *Journal of business*, 58, 135-57.
- Dixit, A. K., 1989, Entry and exit decisions under uncertainty, *Journal of Political Economy*, 97, 620-38.
- Dixit, A. K., and R. S. Pindyck, 1994, *Investment under uncertainty*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey
- Fudenberg, D., and J. Tirole, 1985, Preemption and rent equalization in the adoption of new technology, *Review of Economic Studies*, 52, 383-401.
- Gibbons, R., 1992, *Game theory for applied economists* Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Grenadier, S. R., 1996, The strategic exercise of options: development cascades and overbuilding in real state markets, *Journal of Finance*, 51, 1653-79.
- Grenadier, S. R., 1999, Information revelation through option exercise, *Review of Financial Studies*, 12, 95-129.
- Grenadier, S. R., 2000, Option exercise game: the intersection of real options and game theory, *Journal of Applied corporate Finance*, 13, 99-107.
- Joaquin, D. C., and K. C. Butler 2000, Competitive investment decisions: a synthesis Project Flexibility, Agency, and Competition, 324-339, Brennan, M. J., and L. Trigeorgis, eds, Oxford University Press, New York, New York.
- Joaquin, D. C., and N. Khanna, 2001, Investment timing decisions under threat of potential competition: why firm size matters, *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 41, 1-17.
- Huisman, K., and P. Kort, 1999, Effects of strategic Interactions on the option value of waiting, Working paper, Tilburg University, The Netherlands.
- Kerin, R. A., P. R. Varadarajan., and R. A. Peterson, 1992, First-mover advantage: a synthesis, conceptual framework, and research propositions, *Journal of Marketing*, 56, 33-52.
- Lambrecht, B., and W. Perraudin, 2003, Real options and preemption under incomplete information, *Journal of Economic Dynamics & Control*, 27, 619-643.
- Majd, S., and R. S. Pindyck, 1987, Time to build, option value, and investment decisions, *Journal of Financial Economics*, 18, 7-27.
- McDonald, R., and D. R. Siegel, 1985, Investment and the valuation of firms when there is an option to shut down, *International Economic Review*, 26, 331-49.

McDonald, R., and D. R. Seigel, 1986, The value of waiting to investment, *Quarterly Journal of Economics*, 101, 707-27.

Myers, S. C., and S. Majd, 1990, Abandonment value and project life, *Advances in Futures and Options Research*, 4, 1-21.

Pawlina, G., and P. M. Kort, 1999, Real options in asymmetric Duopoly: who benefits from your competitive disadvantage ?, Working paper, Tilburg University, The Netherlands.

Pindyck, R. S., 1988, Irreversible investment, capacity choice, and firm value, *American Economic Review*, 78, 969-85.

Pindyck, R. S., 1991, Irreversibility, uncertainty, and investment, *Journal of Economic Literature*, 29, 1110-48.

Schwartz, E. J., and L. Trigeorgis, eds, 2001, *Real options and Investment under uncertainty*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

Smit, H. T. J., and L. A. Ankum, 1993, A real options and game-theoretic approach to corporate investment strategy under competition, *Financial Management*, 22, 241-50.

Titman, S., 1985, Urban land prices under uncertainty, *American Economic Review*, 75, 505-14.

Trigeorgis, L., 1996, *Real options*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

パラメーター	数値
逆需要関数	$a = 10; b = 1$
投資コスト	$I = 200$
安全利子率	$r = 0.04$
コンビニエンスイールド	$\pm = 0.04$
瞬間的な期待変化率	$\otimes = 0.1$
瞬間的な標準偏差	$\frac{3}{4} = 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5$

表 1: 数値計算のパラメーター

	0:1	0:2	0:3	0:4	0:5
1年	91:9	84:7	79:7	74:2	73:7
2年	92:4	87:1	83:2	82:1	81:3
3年	92:6	88:2	85:5	85:6	85:6
4年	92:7	89:0	86:8	86:9	87:6
5年	92:7	89:1	87:9	88:4	89:1

表 2: 新製品導入後の事業価値 $L(X_L)$ が投資コスト I を下回る確率

	0:1	0:2	0:3	0:4	0:5
1年	59:3	47:6	47:3	48:9	51:1
2年	62:0	56:4	59:0	60:4	64:5
3年	62:4	60:2	63:8	66:9	71:0
4年	62:7	61:5	66:6	71:0	75:3
5年	63:0	62:3	68:6	74:2	77:9

表 3: 新製品導入後の事業価値 $S(X_S)$ が投資コスト I を下回る確率

$\frac{3}{4}$	X_L	X_L^a	X_S	X_S^a	X_F^a
0:1	0:32	0:45	0:73	1:02	1:82
0:2	0:35	0:64	0:79	1:44	2:56
0:3	0:40	0:88	0:86	1:99	3:54
0:4	0:45	1:19	0:93	2:69	4:78
0:5	0:51	1:57	1:00	3:54	6:33

表 4: 不確実性の影響

$\frac{1}{2}$ の値	均衡への影響
$\frac{9}{16}$	$X_F^a = X_S^a$
$\frac{9(-i-1)}{16-i-9}$	$X_F^a = X_S$
$\frac{-i-1}{2-i-1}$	$X_F^a = X_L$
$\frac{1}{4}$	$X_F^a = X_L^a$
$\frac{1}{4} \frac{2-i+1}{4} \frac{-1}{-i-1}$	$X_L^a = X_L$
$\frac{9-i-16}{16(-i-1)}$	$X_S = X_S^a$

表 5: 後発企業の優位性